

опубл. 28.02.12 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. № 1. – С. 143.

4. **Сучков, Д.И.** Медь и ее сплавы / Д.И. Сучков. – М.: Металлургия, 1967. – 248 с.

5. **Schumann, H.** Metallographie / H. Schumann. – Klaus Cyrener...13., neubearb. Aufl. – Leipzig Dt. Verl. fur Grundstoffind, 1990. – 764 p.

6. **Щербаков, В.Г.** Исследование диффузионных процессов при спекании оцинкованных медных волокон / В.Г. Щербаков, В.М. Константинов, Б.Б. Хина // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: сб. науч. тр.; в 3 кн. Кн. 1. Материаловедение / редкол.: А.В. Белый (гл. ред.) [и др.]. – Минск: ФТИ НАН Беларуси, 2018. – С. 274–287.

*УДК 669*

**И.А. ИВАНОВ**, д-р техн. наук,  
**Э.В. КОВАЛЕВИЧ**,  
**И.Л. КУЛИНИЧ**,  
**Д.В. ПРИМШИЦ** (БНТУ)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СИЛИЦИДОВ ДЛЯ КАТОДОВ-МИШЕНЕЙ ВАКУУМНЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

В лабораторных условиях были выполнены экспериментальные исследования процесса получения силицидов для катодов-мишеней, используемых при нанесении защитных покрытий. На первом этапе с использованием СВС-процесса получали комплексные силициды. В качестве исходных материалов использовали оксиды титана, никеля, меди и кремния из расчета получения в конечном материале минимального количества кремния. Восстановление осуществлялось за счет порошка чистого алюминия по методике, описанной в работе [1]. На рисунке 1 представлены фотографии образцов комплексного силицида, полученных восстановительной плавкой.

На следующем этапе методом высокоскоростной индукционной плавки полученные слитки силицида переплавлялись, осуществ-

влялась корректировка химического состава и в дальнейшем производилась заливка литейных форм с целью получения катода-мишени. Общий вид продуктов плавки и этапы данного процесса представлены на рисунке 2.



*a*



*б*

*a* – титан-никель-кремний, *б* – титан-медь-кремний

Рисунок 1 – Слитки силицидов, полученные восстановительной плавкой (СВС-процессе)



*a*



*б*



*в*



*г*



*д*



*е*

*a* – высокоскоростная плавильная установка; *б* – процесс плавки силицида;  
*в* – жидкий силицид перед разливкой; *г* – технологическая оснастка (литейная форма и токовод); *д* – отливка с прибыльной частью; *е* – образец катода-мишени

Рисунок 2 – Последовательность технологических операций изготовления катода-мишени

Катоды, используемые в вакуумных электродуговых испарительных устройствах, являются съемными и водоохлаждаемыми. В зависимости от конструкции испарителя и способа их закрепления форма катодов может значительно отличаться. Катоды из сплавов металл-неметалл состоят из двух частей: рабочей части, которая испаряется вакуумной дугой, и пробки, обеспечивающей крепление катода в испарителе и его быструю замену.

Конструкция пробки имеет двойное предназначение. Она обеспечивает электрический контакт с катодом-мишенью и позволяет надежно крепить данную конструкцию в вакуумной камере. С учетом этих особенностей и применительно к конкретной установке по напылению разработан вариант изготовления катодов-мишеней. Для нанесения покрытий на вакуумно-дуговой испарительной установке УВН 70 Union применяются катоды-мишени, размеры которого представлены на рисунке 2.

При анализе полученного катода-мишени с содержанием кремния и меди в шихте до изготовления катода-мишени (50 % кремния, 50 % меди) было выявлено значительное содержание кислорода, что обусловлено способом получения катода-мишени (изготавливали в атмосфере воздуха плавкой в индукционной печи). Установка для нанесения покрытий УВН 070 представлена на рисунке 3.

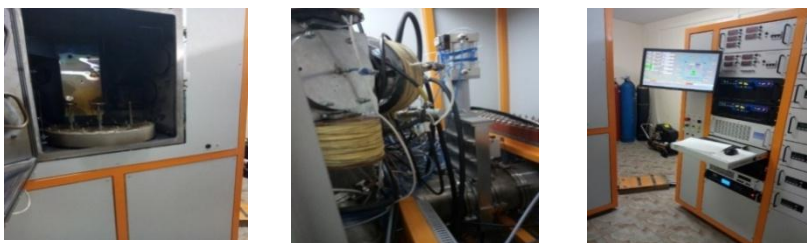


Рисунок 3 – Установка для нанесения покрытий УВН 070

На установке для нанесения покрытий УВН 070 были проведены испытания опытного образца катода-мишени из комплексного сплава. Нанесение проводили при токе дугового разряда 70 А и давлении 0,1 Па в течение 10 мин. Установлено, что полученное покрытие характеризуется наличием капельной фазы. В качестве примера на рисунке 4 представлена фотография поверхности покрытия.

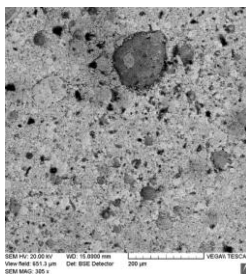


Рисунок 4 – Поверхность покрытия на стальной подложке

В дальнейшем планируется проведение более широких испытаний катодов-мишеней из различных составов силицидов.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований подтверждена возможность получения катодов-мишеней для вакуумно-плазменного нанесения покрытий, полученных с применением литейных технологий.

### Список литературы

**1. Исследование** процесса получения сплавов металл-кремний для изготовления катодов-мишеней / И.А. Иванов [и др.] // Современные методы и технологии создания и обработки материалов : материалы XI Междунар. науч.-техн. конф., Минск 14–16 сентября 2016 г. / ФТИ НАН Беларуси. – Минск, 2016.

УДК 669.58

**В.М. КОНСТАНТИНОВ**, д-р техн. наук,  
**И.А. БУЛОЙЧИК** (БНТУ)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ УСКОРЕНИЯ ДИФФУЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ЦИНКСОДЕРЖАЩИХ СЛОЕВ НА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЯХ**

При рассмотрении технологичности любого техпроцесса на производстве наибольшее внимание уделяется его экономической